

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-202694

(P2012-202694A)

(43) 公開日 平成24年10月22日(2012.10.22)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)	
G O 1 B	11/00	(2006.01)	G O 1 B	11/00	H	2 F O 6 5
G O 1 C	11/06	(2006.01)	G O 1 C	11/06		2 F 1 1 2
G O 6 T	1/00	(2006.01)	G O 6 T	1/00	3 1 5	5 B O 5 7
G O 1 C	3/00	(2006.01)	G O 1 C	3/00	1 2 O	
G O 1 C	3/06	(2006.01)	G O 1 C	3/06	1 1 O V	
審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 27 頁)						

(21) 出願番号 特願2011-64466 (P2011-64466)
 (22) 出願日 平成23年3月23日 (2011. 3. 23)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100082337
 弁理士 近島 一夫
 (74) 代理人 100095991
 弁理士 阪本 善朗
 (74) 代理人 100141508
 弁理士 大田 隆史
 (72) 発明者 谷 紘太
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

最終頁に続く

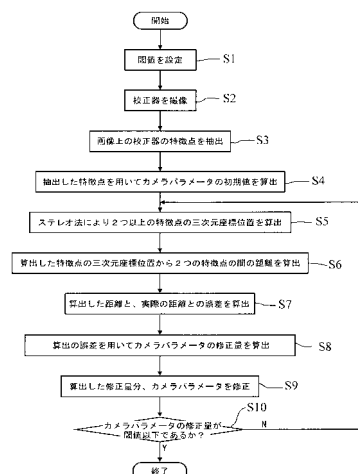
(54) 【発明の名称】 カメラ校正方法

(57) 【要約】

【課題】ステレオ法を用いた三次元測定に適したカメラ校正を行い、三次元位置の測定における測定精度を向上させることができるカメラ校正方法を提供すること。

【解決手段】複数の特徴点が設けられ、各特徴点の相対位置が既知である校正器を撮像する(S2)。撮像した校正器の画像情報から校正器の特徴点を抽出する(S3)。2つのカメラそれぞれのカメラパラメータの初期値を算出する(S4)。算出したカメラパラメータを用いて、2つ以上の特徴点の三次元位置座標を算出する(S5)。三次元位置座標を算出した各特徴点のうち、2つの特徴点間の距離を算出する(S6)。算出した距離と実際の距離との誤差を算出する(S7)。算出した誤差を用いてカメラパラメータの修正量を算出する(S8)。算出した修正量の分、カメラパラメータを修正して更新する(S9)。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、

複数の特徴点が設けられ前記各特徴点の相対位置が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、

前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、

ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける前記複数の特徴点のうち 2 つ以上の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、

前記特徴点座標算出工程で算出された各特徴点の三次元位置座標から 2 つの特徴点の間の距離を算出する距離算出工程と、

前記距離算出工程で算出された 2 つの特徴点の間の距離と、実際の 2 つの特徴点の間の距離との誤差を算出する誤差算出工程と、

前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、

前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とするカメラ校正方法。

【請求項 2】

閾値を設定する閾値設定工程と、

前記修正量算出工程で算出された修正量と前記閾値設定工程で設定された閾値とを比較する比較工程と、を備え、

前記比較工程による比較の結果、前記修正量算出工程で算出された修正量が前記閾値設定工程で設定された閾値を上回る場合、前記特徴点座標算出工程、前記距離算出工程、前記誤差算出工程、前記修正量算出工程及び前記カメラパラメータ修正工程を再度実行することを特徴とする請求項 1 に記載のカメラ校正方法。

【請求項 3】

前記特徴点座標算出工程、前記距離算出工程、前記誤差算出工程、前記修正量算出工程及び前記カメラパラメータ修正工程の一連の工程を実行した数をカウントするカウント工程と、

前記カウント工程におけるカウント数の上限を示すカウント数上限値を設定する上限値設定工程と、を備え、

前記カウント工程におけるカウント数が、前記上限値設定工程で設定されたカウント数上限値に達するまで、前記一連の工程を繰り返し実行することを特徴とする請求項 1 に記載のカメラ校正方法。

【請求項 4】

被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、

複数の特徴点が設けられ前記各特徴点の相対位置が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、

前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値

10

20

30

40

50

を算出する初期値算出工程と、

ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける前記複数の特徴点のうち2つ以上の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、

前記特徴点座標算出工程で算出された各特徴点の三次元位置座標から2つの特徴点の間の距離を算出する距離算出工程と、

前記距離算出工程で算出された前記2つの特徴点の間の距離と、実際の前記2つの特徴点の間の距離との誤差を算出する誤差算出工程と、

閾値を設定する閾値設定工程と、

前記誤差算出工程で算出された誤差と前記閾値設定工程で設定された閾値とを比較する比較工程と、

前記比較工程による比較の結果、前記誤差算出工程で算出された誤差が、前記閾値設定工程で設定された閾値を上回る場合に、前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、

前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とするカメラ校正方法。

【請求項5】

前記カメラパラメータ修正工程にて前記各カメラのカメラパラメータを修正した後、前記特徴点座標算出工程、前記距離算出工程、前記誤差算出工程及び前記比較工程を再度実行することを特徴とする請求項4に記載のカメラ校正方法。

【請求項6】

被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、

複数の特徴点が設けられ、前記複数の特徴点のうち少なくとも1つの特徴点の実際の三次元位置座標が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、

前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、

ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける実際の三次元位置座標が既知の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、

前記特徴点座標算出工程で算出された特徴点の三次元位置座標と、実際の特徴点の三次元位置座標との誤差を算出する誤差算出工程と、

前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、

前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とするカメラ校正方法。

【請求項7】

閾値を設定する閾値設定工程と、

前記修正量算出工程で算出された修正量と前記閾値設定工程で設定された閾値とを比較する比較工程と、を備え、

前記比較工程による比較の結果、前記修正量算出工程で算出された修正量が前記閾値設定工程で設定された閾値を上回る場合、前記特徴点座標算出工程、前記誤差算出工程、前記修正量算出工程及び前記カメラパラメータ修正工程を再度実行することを特徴とする請求項6に記載のカメラ校正方法。

【請求項8】

10

20

30

40

50

前記特徴点座標算出工程、前記誤差算出工程、前記修正量算出工程及び前記カメラパラメータ修正工程の一連の工程を実行した数をカウントするカウント工程と、

前記カウント工程におけるカウント数の上限を示すカウント数上限値を設定する上限値設定工程と、を備え、

前記カウント工程におけるカウント数が、前記上限値設定工程で設定されたカウント数上限値に達するまで、前記一連の工程を繰り返し実行することを特徴とする請求項 6 に記載のカメラ校正方法。

【請求項 9】

被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、

複数の特徴点が設けられ、前記複数の特徴点のうち少なくとも 1 つの特徴点の実際の三次元位置座標が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、

前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、

ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける実際の三次元位置座標が既知の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、

前記特徴点座標算出工程で算出された特徴点の三次元位置座標と、実際の特徴点の三次元位置座標との誤差を算出する誤差算出工程と、

閾値を設定する閾値設定工程と、

前記誤差算出工程で算出された誤差と前記閾値設定工程で設定された閾値とを比較する比較工程と、

前記比較工程による比較の結果、前記誤差算出工程で算出された誤差が、前記閾値設定工程で設定された閾値を上回る場合に、前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、

前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とするカメラ校正方法。

【請求項 10】

前記カメラパラメータ修正工程にて前記各カメラのカメラパラメータを修正した後、前記特徴点座標算出工程、前記誤差算出工程及び前記比較工程を再度実行することを特徴とする請求項 9 に記載のカメラ校正方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、校正器の各特徴点の相対位置又は三次元位置座標が既知であり、特徴点の位置をステレオ法により測定し、その測定値の誤差を評価することで各カメラのカメラパラメータの校正を行うカメラ校正方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

通常、カメラを用いて被撮像物を撮像した場合にレンズ等による歪みを考慮し、撮像により得た二次元の画像データを、カメラパラメータを用いて補正している。また、補正した画像データを処理することで測定対象を抽出し、その抽出した画像空間上での位置を実画像空間上での位置にカメラパラメータを用いて換算している。このカメラパラメータはカメラに応じて異なるため、予めカメラパラメータを校正しておく必要がある。

【0003】

10

20

30

40

50

従来のカメラ校正方法は、校正器の特徴点をカメラにより様々な位置・姿勢で撮像し、各特徴点の画像上での位置を抽出する。そして、その抽出した特徴点の位置よりカメラパラメータを算出したり、カメラの設計値をもとにしたりして、カメラパラメータの初期値を算出し、このカメラパラメータを用いて各特徴点の画像上での位置を算出する。その算出した画像上での各特徴点の位置と、実際の画像上に写っている各特徴点の位置との差である再投影誤差が最小になるように、カメラパラメータを修正することでカメラ校正を行っている（非特許文献 1，2 参照）。

【 0 0 0 4 】

ここで述べるカメラパラメータとは、焦点距離、レンズ歪み係数、画像中心、アスペクト比、せん断歪み係数といったカメラの内部パラメータと、カメラの位置・姿勢といった外部パラメータのことである。このカメラパラメータを修正することをカメラ校正と呼ぶ。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 非特許文献 1 】 Z.Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", IEE E Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.

【 非特許文献 2 】 Roger Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Self TV Cameras and Lensed", IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-3, No.4, pp.323-344(1987)

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

ところで、2つ以上のカメラを有するステレオ撮像装置を用いた、ステレオ法による三次元測定では、カメラの内部パラメータにより各カメラをモデル化する。そして、各カメラの外部パラメータを用いて三角測量を行う。

【 0 0 0 7 】

しかしながら、上述したカメラ校正方法により求めたカメラパラメータは、再投影誤差を基準としているため、ステレオ法を用いた三次元測定に対して最適であるとは言えない。すなわち、上述したカメラ校正方法により求めたカメラパラメータは、ステレオ法による三次元測定を想定したものではないので、そのまま三次元測定に用いたのでは測定誤差が大きく、三次元測定における測定精度の向上が望まれていた。

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明は、ステレオ法を用いた三次元測定に適したカメラパラメータの校正を行い、三次元測定における測定精度を向上させることができるカメラ校正方法を提供することを目的とするものである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明は、被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、複数の特徴点が設けられ前記各特徴点の相対位置が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける前記複数の特徴点のうち2つ以上の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴

点座標算出工程と、前記特徴点座標算出工程で算出された各特徴点の三次元位置座標から2つの特徴点の間の距離を算出する距離算出工程と、前記距離算出工程で算出された2つの特徴点の間の距離と、実際の2つの特徴点の間の距離との誤差を算出する誤差算出工程と、前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とする。

【0010】

また、本発明は、被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、複数の特徴点が設けられ前記各特徴点の相対位置が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける前記複数の特徴点のうち2つ以上の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、前記特徴点座標算出工程で算出された各特徴点の三次元位置座標から2つの特徴点の間の距離を算出する距離算出工程と、前記距離算出工程で算出された前記2つの特徴点の間の距離と、実際の前記2つの特徴点の間の距離との誤差を算出する誤差算出工程と、閾値を設定する閾値設定工程と、前記誤差算出工程で算出された誤差と前記閾値設定工程で設定された閾値とを比較する比較工程と、前記比較工程による比較の結果、前記誤差算出工程で算出された誤差が、前記閾値設定工程で設定された閾値を上回る場合に、前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とする。

【0011】

また、本発明は、被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、複数の特徴点が設けられ、前記複数の特徴点のうち少なくとも1つの特徴点の実際の三次元位置座標が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける実際の三次元位置座標が既知の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、前記特徴点座標算出工程で算出された特徴点の三次元位置座標と、実際の特徴点の三次元位置座標との誤差を算出する誤差算出工程と、前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とする。

【0012】

また、本発明は、被測定物を撮像する複数のカメラと、前記各カメラにより前記被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データを前記カメラのカメラパラメータを用いて補

正し、補正後の各画像データを用いて前記被測定物の三次元位置の測定を行う処理部とを有するステレオ撮像装置における前記各カメラのカメラパラメータを校正するカメラ校正方法において、複数の特徴点が設けられ、前記複数の特徴点のうち少なくとも1つの特徴点の実際の三次元位置座標が既知である校正器を、前記各カメラで撮像してそれぞれの校正用画像データを取得する撮像工程と、前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置を抽出する抽出工程と、前記抽出工程で得られた前記各校正用画像データにおける前記各特徴点の画像上の位置および前記各特徴点の既知である相対位置から前記各カメラのカメラパラメータの初期値を算出する初期値算出工程と、ステレオ法により前記各カメラのカメラパラメータを用いて前記各校正用画像データにおける実際の三次元位置座標が既知の特徴点の三次元位置座標を算出する特徴点座標算出工程と、前記特徴点座標算出工程で算出された特徴点の三次元位置座標と、実際の特徴点の三次元位置座標との誤差を算出する誤差算出工程と、閾値を設定する閾値設定工程と、前記誤差算出工程で算出された誤差と前記閾値設定工程で設定された閾値とを比較する比較工程と、前記比較工程による比較の結果、前記誤差算出工程で算出された誤差が、前記閾値設定工程で設定された閾値を上回る場合に、前記誤差算出工程で算出された誤差から前記各カメラのカメラパラメータの修正量を算出する修正量算出工程と、前記修正量算出工程で算出された修正量の分、前記各カメラのカメラパラメータを修正するカメラパラメータ修正工程と、を備えたことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0013】

20

本発明によれば、ステレオ法による特徴点の三次元位置座標の算出結果を用いてカメラパラメータの校正を行うため、三次元位置の測定精度を向上させることができる。また、カメラパラメータの初期値を算出するための撮像作業が、それに続くカメラパラメータの校正のための撮像作業も兼ねるので、撮像作業を簡略化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の第1実施形態に係るステレオ撮像装置の概略構成を示す説明図である。

【図2】カメラ校正を実行するために校正器を5種類の姿勢で撮像した様子を示した模式図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

30

【図4】本発明の第2実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第3実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

【図6】第4実施形態においてカメラ校正を実行するために校正器を撮像している様子を示す模式図である。

【図7】本発明の第4実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

【図8】本発明の第5実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

40

【図9】本発明の第6実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明を実施するための形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0016】

[第1実施形態]

図1は、本発明の第1実施形態に係るステレオ撮像装置の概略構成を示す説明図である。ステレオ撮像装置100は、被測定物を撮像する複数（本第1実施形態では2台）のカメラ

50

メラ 1_L とカメラ 1_R が接続された制御装置 2 と、制御装置 2 に接続された入力装置 3 とを備えている。制御装置 2 は、CPU 2 a 及び記憶部 2 b 等を備えたコンピュータであり、装置全体を制御するものである。そして、制御装置 2 は、被測定物の三次元位置を測定する測定モードと、各カメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータ（内部パラメータ及び外部パラメータ）を校正する校正モードとに切り替え可能に構成されている。制御装置 2 は、測定モードでは、各カメラ 1_L , 1_R により被測定物を撮像して得られたそれぞれの画像データをカメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータを用いて補正し、補正後の各画像データを用いて被測定物の三次元位置の測定を行う処理部として機能する。

【0017】

入力装置 3 は、キーボードやタッチパネル等で構成され、制御装置 2 に接続されており、オペレータの操作に応じた入力信号を制御装置 2 に送出する。制御装置 2 は、入力装置 3 からの入力信号を入力して、各種設定等を行う。

【0018】

本第 1 実施形態では、校正モードにて各カメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータを校正するための校正用のプログラムが、制御装置 2 の記憶部 2 b に記憶されている。制御装置 2 の CPU 2 a は、校正モードに設定された場合に校正用のプログラムを読み出して、校正処理を実行する。

【0019】

本第 1 実施形態では、各カメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータを校正する際に、図 1 に示す校正器 C 1 を使用する。この校正器 C 1 は、平面プレートに黒白の市松模様が印刷されて構成されており、黒（白）の正方形の辺の長さ、つまり黒（白）の正方形の頂点間の長さが既知のものである。本第 1 実施形態では、黒（白）の正方形の各頂点を特徴点 P 1 ~ P 1 2 としている。つまり、各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の相対位置が既知であり、予め、各特徴点の相対位置が記憶部 2 b に記憶されている。

【0020】

図 2 はカメラ校正を実行するために校正器 C 1 を 5 種類の姿勢で撮像した様子を示しており、以下、図 2 (a) ~ 図 2 (e) に示した各撮像により得た画像データをそれぞれ校正用画像データ I 1 ~ I 5 と呼ぶ。図 2 においては、簡単のため、2 台のカメラ 1_L , 1_R が、同一水平面上に光軸があり、かつその光軸が平行になる構成とした。なお、実際のカメラ 1_L , 1_R の構成は、測定対象を撮像することができればどのような構成でも良い。

【0021】

図 3 は、本発明の第 1 実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。まず、制御装置 2 の CPU 2 a は、予めオペレータの操作による入力装置 3 の指示により、後述する比較工程で比較するために用いられるカメラパラメータの修正量に対する閾値を設定する（S 1 : 閾値設定工程）。ここで、閾値を設定するとは、閾値を示すデータを CPU 2 a が閾値として読み出し可能な状態で記憶部 2 b に記憶させることである。この閾値を示すデータは、例えば入力装置 3 から得られる。なお、この閾値設定の動作は、校正モードに切り替えられた際に毎回行うようにしてもよいし、校正モードに切り替えられた最初の 1 回だけ行うようにしてもよい。また、オペレータが随時閾値設定を行えるように構成してもよい。また、記憶部 2 b に校正用のプログラムを記憶させる際に、閾値のデータを校正用のプログラムと共に記憶部 2 b に記憶させるようにしてもよい。

【0022】

CPU 2 a は、各カメラ 1_L , 1_R に校正器 C 1 を撮像させて、それぞれの校正用画像データを取得する（S 2 : 撮像工程）。本第 1 実施形態では、1 つの平面状の校正器 C 1 を撮像しているため、各カメラ 1_L , 1_R により撮像する校正器 C 1 の姿勢は、3 種類以上である。なお、校正器が立体のものであれば、撮像する校正器 C 1 の姿勢は、1 種類以上であればよい。

【0023】

10

20

30

40

50

次に、CPU 2 a は、各校正用画像データにおける各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置を画像処理により抽出する（S 3：抽出工程）。例えば、図 2 に示すように、各カメラ 1_L、1_R にて校正器 C 1 を 5 種類の姿勢で撮像した場合、カメラ 1_L による撮像により得られる校正用画像データを I 1_L ~ I 5_L とし、カメラ 1_R による撮像により得られる校正用画像データを I 1_R ~ I 5_R とする。CPU 2 a は、カメラ 1_L による撮像により得られた校正用画像データ I 1_L ~ I 5_L における各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置を画像処理により抽出する。同様に、CPU 2 a は、カメラ 1_R による撮像により得られた校正用画像データ I 1_R ~ I 5_R における各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置を画像処理により抽出する。

【0024】

10

次に、CPU 2 a は、各校正用画像データにおける各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置および記憶 2 b に記憶されている各特徴点の相対位置から各カメラ 1_L、1_R のカメラパラメータの初期値を算出する（S 4：初期値算出工程）。ここでは、例えば非特許文献 1 に示されているような公知の方法により、各カメラ 1_L、1_R のカメラパラメータの初期値を算出する。具体的には、CPU 2 a は、各校正用画像データ I 1_L ~ I 5_L における各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置からカメラ 1_L の内部パラメータの初期値を算出する。同様に、CPU 2 a は、各校正用画像データ I 1_R ~ I 5_R における各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置からカメラ 1_R の内部パラメータの初期値を算出する。また、各校正用画像データ I 1_L ~ I 5_L、I 1_R ~ I 5_R における各特徴点 P 1 ~ P 1 2 の画像上の位置からカメラ 1_L、1_R の外部パラメータの初期値を算出する。ここで、これのカメラパラメータの初期値を算出するには、少なくとも 3 種類の位置姿勢の校正器を撮像した画像データが必要であるため、本第 1 実施形態では、撮像する校正器 C 1 の位置姿勢を 5 種類としている。なお、内部パラメータについては、各カメラ別々に撮像を行い、別途算出しておいてもよい。

20

【0025】

算出されたカメラ 1_L、1_R のカメラパラメータのうち内部パラメータをカメラ行列 A_L、A_R として以下の数 1 及び数 2 に示す。なお、f_L は、カメラ 1_L の焦点距離を示す内部パラメータ、f_R は、カメラ 1_R の焦点距離を示す内部パラメータである。また、k_{uL} は、カメラ 1_L におけるスケールを示す内部パラメータ、k_{uR} は、カメラ 1_R により撮像された画像におけるスケールを示す内部パラメータである。

30

【0026】

【数 1】

$$A_L = \begin{bmatrix} f_L \cdot k_{uL} & 0 & u_{0L} \\ 0 & f_L \cdot k_{vL} & v_{0L} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0027】

【数 2】

40

$$A_R = \begin{bmatrix} f_R \cdot k_{uR} & 0 & u_{0R} \\ 0 & f_R \cdot k_{vR} & v_{0R} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0028】

また、カメラパラメータのうち各カメラ 1_L、1_R の相対位置（カメラ 1_L を基準としたカメラ 1_R の位置）を表わす外部パラメータ T を以下の数 3 に示す。

【0029】

50

【数 3】

$$T = [b \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

【0 0 3 0】

なお、ここでは簡単のため、内部パラメータにおいてスキューを考慮していないが、実際は考慮してもよい。

【0 0 3 1】

ここで、CPU 2 a は、ステップ S 4 の処理において、内部パラメータとしてレンズ歪みを表わす放射状歪み係数 k_1 , k_2 を算出している。そして、CPU 2 a は、以下の数 4 及び数 5 で表される関係式に算出した係数 k_1 , k_2 を適用して、各校正用画像データにおいて、歪みのあるカメラ座標 (x', y') を歪みのないカメラ座標 (x, y) に補正しておく。

10

【0 0 3 2】

【数 4】

$$x' = x + x * (k_1 * (x^2 + y^2) + k_2 * (x^2 + y^2)^2)$$

20

【0 0 3 3】

【数 5】

$$y' = y + y * (k_1 * (x^2 + y^2) + k_2 * (x^2 + y^2)^2)$$

【0 0 3 4】

30

次に、CPU 2 a は、補正された各校正用画像データにおいて、各カメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータを用いて、検出済みである画像上の複数の特徴点のうち 2 つ以上の特徴点についてステレオ法により三次元位置の測定を行う (S 5 : 特徴点座標算出工程)。

【0 0 3 5】

例えば、CPU 2 a は、補正された校正用画像データ I_{4L} , I_{4R} において、各カメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータを用いて、検出済みである画像上の特徴点 P_1 , P_4 , P_9 , P_{12} についてステレオ法により三次元位置の測定を行う。同様に、CPU 2 a は、補正された校正用画像データ I_{5L} , I_{5R} において、各カメラ 1_L , 1_R のカメラパラメータを用いて、検出済みである画像上の特徴点 P_1 , P_4 , P_9 , P_{12} についてステレオ法により三次元位置の測定を行う。ここでは、三次元測定を行う座標系は、いずれか 1 つのカメラ (例えばカメラ 1_L) のカメラ座標系とする。ただし、座標系の設定は座標系設定用のポイントを測定することで行ってもよく、この限りではない。

40

【0 0 3 6】

以下、特徴点座標算出工程の処理について具体的に説明する。校正用画像データ I_{4L} , I_{4R} における特徴点 P_1 の画像座標をそれぞれ (u_{4Lp1}, v_{4Lp1}) , (u_{4Rp1}, v_{4Rp1}) とする。特徴点 P_1 の三次元位置座標 X_{4p1} ($x_{4p1}, y_{4p1}, z_{4p1}$)^T は以下の数 6 及び数 7 のように表される。

【0 0 3 7】

【数 6】

$$\begin{pmatrix} x_{4_{p1}} & y_{4_{p1}} & z_{4_{p1}} \end{pmatrix}^T = k \begin{pmatrix} \frac{u_{4_{lp1}} - u_{0L}}{k_{ul}} & \frac{v_{4_{lp1}} - v_{0L}}{k_{vl}} & f_L \end{pmatrix}^T$$

【0038】

【数 7】

10

$$\begin{pmatrix} x_{4_{p1}} & y_{4_{p1}} & z_{4_{p1}} \end{pmatrix}^T = l \begin{pmatrix} \frac{u_{4_{rp1}} - u_{0R}}{k_{ur}} & \frac{v_{4_{rp1}} - v_{0R}}{k_{vr}} & f_R \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} b & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$$

【0039】

CPU2aは、ステップS5において、数6及び数7の右辺の差の大きさが最小になるように、係数k、lを算出する。そして、CPU2aは、算出した係数k、lを数6及び数7に代入してそれぞれ求めた $x_{4_{p1}}$ の中点として、校正用画像データI4L、I4Rにおける特徴点P1の三次元位置座標 $x_{4_{p1}}$ が求まる。

【0040】

20

同様に、校正用画像データI4L、I4Rにおける特徴点P4、P9、P12の三次元位置座標 $x_{4_{p4}}$ 、 $x_{4_{p9}}$ 、 $x_{4_{p12}}$ も求まる。また同様に、校正用画像データI5L、I5Rにおける特徴点P1、P4、P9、P12の三次元位置座標 $x_{5_{p1}}$ 、 $x_{5_{p4}}$ 、 $x_{5_{p9}}$ 、 $x_{5_{p12}}$ も求まる。

【0041】

このように、本実施形態では、ステップS4においてカメラパラメータの初期値を算出するための特徴点と、ステップS5においてステレオ法を用いた三次元座標を算出するための特徴点を同一の特徴点としている。したがって、校正器において、高精度に製作もしくは印刷しなければならない特徴点の数や種類を削減することができる。

【0042】

30

次に、CPU2aは、ステップS5で算出した各特徴点の三次元位置座標から2つの特徴点の間の距離を算出する(S6：距離算出工程)。例えば、校正用画像データI4L、I4Rにおいて、三次元位置座標 $x_{4_{p1}}$ 、 $x_{4_{p4}}$ 、 $x_{4_{p9}}$ 、 $x_{4_{p12}}$ から2つの特徴点P1、P4の間の距離 $L_{4_{p1-4}}$ と、2つの特徴点P9、P12の間の距離 $L_{4_{p9-12}}$ とを算出する。同様に、校正用画像データI5L、I5Rにおいて、三次元位置座標 $x_{5_{p1}}$ 、 $x_{5_{p4}}$ 、 $x_{5_{p9}}$ 、 $x_{5_{p12}}$ から2つの特徴点P1、P4の間の距離 $L_{5_{p1-4}}$ と、2つの特徴点P9、P12の間の距離 $L_{5_{p9-12}}$ とを算出する。

【0043】

次に、CPU2aは、ステップS6で算出した2つの特徴点の間の距離と、実際の2つの特徴点(記憶部2bに記憶された相対位置)の間の距離(真値)との誤差を算出する(S7：誤差算出工程)。例えば、算出した距離 $L_{4_{p1-4}}$ 、 $L_{5_{p1-4}}$ 、 $L_{4_{p9-12}}$ 、 $L_{5_{p9-12}}$ と予め記憶部2bに記憶された距離 L_{p1-4} 、 L_{p9-12} との誤差 $L_{4_{p1-4}}$ 、 $L_{5_{p1-4}}$ 、 $L_{4_{p9-12}}$ 、 $L_{5_{p9-12}}$ を算出する。

40

【0044】

次に、CPU2aは、ステップS7で算出した誤差から各カメラ1L、1Rのカメラパラメータの修正量を算出する(S8：修正量算出工程)。例えば、CPU2aは、カメラパラメータとしての内部パラメータ f_L 、 f_R 及び外部パラメータbの修正量 f_L 、 f_R 、bを算出する。

【0045】

50

このカメラパラメータの修正量の算出手法としては、1次収束となる最小二乗法、ヘッセ行列を用いたニュートン法、レーベンバーグ・マーカート法などの各種手法が考えられるが、以下、最小二乗法を例に説明する。

【0046】

以下、修正量算出工程における修正量算出動作について具体的に説明する。まず、CPU 2aは、以下の数8で表されるように、算出した距離 $L_{4_{p1-4}}$ 、 $L_{5_{p1-4}}$ 、 $L_{4_{p9-12}}$ 、 $L_{5_{p9-12}}$ のカメラパラメータ f_L 、 f_R 、 b に対する勾配を表わす行列 G を算出する。

【0047】

【数8】

$$G = \begin{pmatrix} \frac{\partial L_{4_{p1-4}}}{\partial f_L} & \frac{\partial L_{4_{p1-4}}}{\partial f_R} & \frac{\partial L_{4_{p1-4}}}{\partial b} \\ \frac{\partial L_{5_{p1-4}}}{\partial f_L} & \frac{\partial L_{5_{p1-4}}}{\partial f_R} & \frac{\partial L_{5_{p1-4}}}{\partial b} \\ \frac{\partial L_{4_{p9-12}}}{\partial f_L} & \frac{\partial L_{4_{p9-12}}}{\partial f_R} & \frac{\partial L_{4_{p9-12}}}{\partial b} \\ \frac{\partial L_{5_{p9-12}}}{\partial f_L} & \frac{\partial L_{5_{p9-12}}}{\partial f_R} & \frac{\partial L_{5_{p9-12}}}{\partial b} \end{pmatrix}$$

10

20

【0048】

そして、CPU 2aは、この行列 G についての一般化逆行列と、算出した距離と真値との誤差 $L_{4_{p1-4}}$ 、 $L_{5_{p1-4}}$ 、 $L_{4_{p9-12}}$ 、 $L_{5_{p9-12}}$ と、を用いて、以下の数9に表す数式に基づき、修正量 f_L 、 f_R 、 b を算出する。

【0049】

【数9】

$$\begin{pmatrix} \Delta f_L \\ \Delta f_R \\ \Delta b \end{pmatrix} = (GG^T)^{-1} G \begin{pmatrix} \Delta L_{4_{p1-4}} \\ \Delta L_{5_{p1-4}} \\ \Delta L_{4_{p9-12}} \\ \Delta L_{5_{p9-12}} \end{pmatrix}$$

30

【0050】

以上のCPU 2aの演算処理により修正量 f_L 、 f_R 、 b が算出される。

【0051】

次に、CPU 2aは、ステップS8で算出された修正量 f_L 、 f_R 、 b の分、各カメラパラメータに加算処理を行うことで、各カメラパラメータ f_L 、 f_R 、 b を更新（修正）する（S9：カメラパラメータ修正工程）。これにより、各カメラパラメータ f_L 、 f_R 、 b が校正されたこととなる。なお、修正量 f_L 、 f_R 、 b が負の値の場合は、カメラパラメータに負の値の修正量を加算することとなる。

40

【0052】

このように、ステレオ法による特徴点の三次元位置座標の算出結果を用いてカメラパラメータ f_L 、 f_R 、 b の校正を行うため、三次元位置の測定における測定精度を向上させることができる。また、カメラパラメータ f_L 、 f_R 、 b の初期値を算出するための撮像作業が、それに続くカメラパラメータ f_L 、 f_R 、 b の校正のための撮像作業も兼ねるので、撮像作業を簡略化することができる。

50

【 0 0 5 3 】

ここで、このカメラパラメータ f_L , f_R , b の修正動作を 1 回だけ行ってもよいが、本第 1 実施形態では、これらカメラパラメータの修正量がそれぞれの閾値以下となるまで繰り返すことで、カメラ校正を行うようにしている。

【 0 0 5 4 】

つまり、CPU 2 a は、ステップ S 9 のカメラパラメータ修正工程における修正処理を終了した後、ステップ S 8 で算出した修正量とステップ S 1 で設定した閾値とを比較する (S 1 0 : 比較工程) 。そして、CPU 2 a は、ステップ S 1 0 における比較の結果、ステップ S 8 で算出した修正量がステップ S 1 で設定された閾値を上回る場合 (S 1 0 : N o) 、ステップ S 5 の処理に戻り、ステップ S 5 ~ S 9 の処理を再度実行する。具体的には、CPU 2 a は、カメラパラメータの修正量が一つでも閾値を上回る場合 (S 1 0 : N o) には、再度、カメラ校正を実施し、全てのカメラパラメータの修正量が閾値以下となった場合 (S 1 0 : Y e s) に、カメラ校正を終了する。

10

【 0 0 5 5 】

例えば、カメラパラメータ f_L の修正量 $|f_L|$ に対しては、ステップ S 1 で閾値 t_{h1} が設定される。また、カメラパラメータ f_R の修正量 $|f_R|$ に対しては、ステップ S 1 で閾値 t_{h2} が設定される。また、カメラパラメータ b の修正量 $|b|$ に対しては、ステップ S 1 で閾値 t_{h3} が設定される。

【 0 0 5 6 】

そして、CPU 2 a は、修正量 $|f_L|$ と閾値 t_{h1} とを、修正量 $|f_R|$ と閾値 t_{h2} とを、修正量 $|b|$ と閾値 t_{h3} とをそれぞれ比較し、全ての修正量が閾値以下となった場合に、カメラ校正を終了する。

20

【 0 0 5 7 】

なお、これら閾値 t_{h1} , t_{h2} , t_{h3} の値については、以下のようにして定めている。まず、ステレオカメラを用いる用途において必要となる校正精度を求め、この校正精度の数分の 1 の値を校正のバラツキ許容値とする。そして、各カメラパラメータの変動が校正のバラツキに及ぼす影響を算出しておき、この影響がバラツキ許容値以下となる各カメラパラメータの変動値を閾値とする。なお、この閾値の設定値については、これに限定するものではなく、バラツキ許容値の 0 . 1 % 以下の値などの共通の値にしてもよく、オペレータが任意に設定できる値である。

30

【 0 0 5 8 】

このように、各修正量が閾値以下となるまで各カメラパラメータの修正を行うことで、1 回のみ各カメラパラメータを修正する場合よりも、更に三次元位置の測定における測定精度が向上する。

【 0 0 5 9 】

なお、本実施形態では、内部パラメータ f_L , f_R と外部パラメータ b の 3 パラメータを校正したが、その他にもスケール k_{vL} , k_{uL} , k_{vR} , k_{uR} や画像中心 u_{0L} , v_{0L} , u_{0R} , v_{0R} も含めたりしてもよく、校正するパラメータはこの限りでない。さらに、ピント合わせをした時は内部パラメータのみを校正したり、カメラの取り付けを変更した場合は外部パラメータのみを校正したりと、校正するパラメータの選択は状況に応じて選択できる。

40

【 0 0 6 0 】

また、本実施形態では、画像の歪みを数 4 及び数 5 のように表しているが、放射状歪み係数を用いて、以下の数 1 0 及び数 1 1 のように表してもよい。

【 0 0 6 1 】

【数 1 0】

$$x = \frac{x'}{1 + \kappa * (x'^2 + y'^2)}$$

【0 0 6 2】

【数 1 1】

$$y = \frac{y'}{1 + \kappa * (x'^2 + y'^2)}$$

10

【0 0 6 3】

その他にも、近似の次数を上げたり、接線方向の歪みを考慮したりしても良い。

【0 0 6 4】

また、本実施形態では、1つの画像中での校正器の特徴点間の距離について計測値と真値の比較を行った。これに対し、撮像データI2と撮像データI3について、校正器を高精度ステージで移動させ、その移動量に計測値と真値の比較を行うなど、校正器の移動量を用いて校正を行ってもよい。

20

【0 0 6 5】

[第2実施形態]

次に、本発明の第2実施形態に係るステレオ撮像装置におけるカメラ校正方法について説明する。図4は、本発明の第2実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。なお、本第2実施形態のステレオ撮像装置では、上記第1実施形態のステレオ撮像装置と同様の構成であり、また、校正器も同一の構成であるので、各構成については上記第1実施形態と同様の符号を用いて説明する。また、図4のフローチャートの各ステップの説明において、図3のフローチャートのステップと同様の処理を行うものについては、同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

30

【0 0 6 6】

CPU2aは、予めオペレータの操作による入力装置3の指示により、カウント数Nの上限を示すカウント数上限値N₀を設定する(S21:上限値設定工程)。カウント数Nは、カメラパラメータの修正回数を示している。ここで、カウント数上限値N₀を設定するとは、カウント数上限値N₀を示すデータをCPU2aがカウント数上限値N₀として読み出し可能な状態で記憶部2bに記憶させることである。なお、このカウント数上限値N₀の設定の動作は、校正モードに切り替えられた際に毎回行うようにしてもよいし、校正モードに切り替えられた最初の1回だけ行うようにしてもよい。また、オペレータが随時、カウント数上限値N₀の設定を行えるように構成してもよい。また、記憶部2bに校正用のプログラムを記憶させる際に、カウント数上限値N₀のデータを校正用のプログラムと共に記憶部2bに記憶させるようにしてもよい。

40

【0 0 6 7】

次に、CPU2aは、カウント数Nを初期化(N=0)する(S22)。そして、CPU2aは、上記第1実施形態と同様に、ステップS2~S9の処理を実行し、ステップS9でカメラパラメータを修正した後、カウント数Nを1インクリメントする(S23)。つまり、このカウント数Nは、カメラパラメータの修正回数を示しているので、カメラパラメータを修正する度にカウント数Nを1インクリメントする。

【0 0 6 8】

次に、CPU2aは、カウント数Nがカウント数上限値N₀に達したか否かを判断する(S24)。CPU2aは、カウント数Nがカウント数上限値N₀に達していないと判断

50

した場合 (S 2 4 : N o) は、ステップ S 5 の処理に戻り、ステップ S 5 ~ S 9 の一連の工程を実行する。これにより、カウント数 N がカウント数上限値 N_0 に達するまで、ステップ S 5 ~ S 9 一連の工程を繰り返し実行されることとなる。

【 0 0 6 9 】

そして、C P U 2 a は、カウント数 N がカウント数上限値 N_0 に達したと判断した場合 (S 2 4 : Y e s) は、カメラ校正を終了する。

【 0 0 7 0 】

以上、本第 2 実施形態では、予め設定された値 N_0 の数の分、カメラパラメータを修正することとなり、更に三次元位置の測定における測定精度が向上する。

【 0 0 7 1 】

10

[第 3 実施形態]

次に、本発明の第 3 実施形態に係るステレオ撮像装置におけるカメラ校正方法について説明する。図 5 は、本発明の第 3 実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。なお、本第 3 実施形態のステレオ撮像装置では、上記第 1 実施形態のステレオ撮像装置と同様の構成であり、また、校正器も同一の構成であるので、各構成については上記第 1 実施形態と同様の符号を用いて説明する。また、図 5 のフローチャートの各ステップの説明において、図 3 のフローチャートのステップと同様の処理を行うものについては、同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

20

まず、C P U 2 a は、上記第 1 実施形態と同様に、予めオペレータの操作による入力装置 3 の指示により、後述する比較工程で比較するために用いられる閾値を設定する (S 3 1 : 閾値設定工程)。この閾値設定の動作は、上記第 1 実施形態と同様であるが、設定される閾値のデータが異なる。上記第 1 実施形態では、カメラパラメータの修正量に対する閾値を設定したが、本第 3 実施形態では、特徴点間の距離の誤差に対する閾値を設定する。例えば、誤差 L_{4p1-4} , L_{5p1-4} , L_{4p9-12} , L_{5p9-12} に対して閾値 t_{ha} , t_{hb} , t_{hc} , t_{hd} が設定される。

【 0 0 7 3 】

ここで、閾値 $t_{ha} \sim t_{hd}$ の値については、ステレオカメラを用いる用途において、ここでいう誤差と、測定対象に対して行う画像処理による追加の誤差との和が、必要となる精度よりも小さくなるようにオペレータが設定すればよい。

30

【 0 0 7 4 】

次いで、C P U 2 a は、上記第 1 実施形態と同様に、ステップ S 2 ~ S 7 の処理を実行する。そして、C P U 2 a は、ステップ S 7 で誤差 L_{4p1-4} , L_{5p1-4} , L_{4p9-12} , L_{5p9-12} を算出した後、当該誤差と、ステップ S 1 で設定された閾値 t_{ha} , t_{hb} , t_{hc} , t_{hd} とを比較する (S 3 2 : 比較工程)。

【 0 0 7 5 】

C P U 2 a は、ステップ S 3 2 における比較の結果、ステップ S 7 で算出した誤差が、ステップ S 3 1 で設定された閾値を上回る場合 (S 3 2 : N o) に、上記第 1 実施形態と同様のステップ S 8 (修正量算出工程) の処理を実行する。次いで、C P U 2 a は、上記第 1 実施形態と同様にステップ S 9 (カメラパラメータ修正工程) の処理を実行する。つまり、誤差 L_{4p1-4} , L_{5p1-4} , L_{4p9-12} , L_{5p9-12} のうち、1 つでも閾値を上回るものがあれば、カメラパラメータの修正処理を実行する。

40

【 0 0 7 6 】

なお、C P U 2 a は、ステップ S 3 2 における比較の結果、ステップ S 7 で算出した誤差が、ステップ S 3 1 で設定された閾値以下の場合 (S 3 2 : Y e s) には、カメラパラメータを修正する必要がないので、カメラ校正を終了する。つまり、算出された全ての誤差 L_{4p1-4} , L_{5p1-4} , L_{4p9-12} , L_{5p9-12} が閾値以下であれば、カメラ校正を終了する。

【 0 0 7 7 】

50

ここで、本第3実施形態では、各誤差が閾値以下となるまで、カメラパラメータの修正動作を行う。具体的には、CPU 2aは、ステップS9の処理にて各カメラ1のカメラパラメータを修正した後、ステップS5, S6, S7, S32の処理を再度実行する。

【0078】

そして、再度、ステップS32の比較処理で誤差が閾値を上回ると判断した場合(S32: No)、再度、ステップS8の修正量算出工程の処理及びステップS9のカメラパラメータ修正工程の処理が実行される。

【0079】

以上、本第3実施形態では、算出した誤差が閾値以下となるまでカメラパラメータが修正され、誤差が閾値以下になったら、カメラパラメータの修正の処理を終了させている。したがって、カメラパラメータの過剰な修正動作が抑制され、更に三次元位置の測定における測定精度が向上する。また、誤差が閾値以下にならないことが懸念される場合は、無限に演算されることを避けるために、第2実施形態で述べたように繰り返し回数による上限も決めておいてもよい。

【0080】

[第4実施形態]

次に、本発明の第4実施形態に係るステレオ撮像装置におけるカメラ校正方法について説明する。図6は、カメラ校正を実行するために校正器を撮像している様子を示す模式図である。上記第1～第3実施形態では、平面状の校正器C1を用いたが、本第4実施形態では、姿勢の異なる3面の平面を有する校正器C2を用いている。なお、本第4実施形態のステレオ撮像装置では、上記第1実施形態のステレオ撮像装置と同様の構成であり、各構成については上記第1実施形態と同様の符号を用いて説明する。

【0081】

本第4実施形態では、校正器C2の各面に、格子状に等間隔に配置した丸形状の複数(9つ)の特徴点(第1の特徴点)Qが印刷されている。本第4実施形態では、カメラ1_L, 1_Rを使用して三次元位置測定を行う座標系は、図6に示したXYZ座標系、即ち校正器C2の座標系(校正器座標系)とする。そして、校正器C2のXYZ軸のそれぞれの軸上には、特徴点(第2の特徴点)T1, T2, T3が印刷されている。各特徴点T1, T2, T3は、校正器座標系における三次元位置座標が既知のものであり、予め、その実際の三次元位置座標が記憶部2bに記憶されている。つまり、校正器C2には、三次元位置座標が既知の特徴点T1, T2, T3が設けられている。

【0082】

図7は、本発明の第4実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。

【0083】

まず、CPU 2aは、上記第1実施形態と同様に、カメラパラメータの修正量に対する閾値を設定する(S41: 閾値設定工程)。

【0084】

次に、CPU 2aは、各カメラ1_L, 1_Rに校正器C2を撮像させて、それぞれの校正用画像データを取得する(S42: 撮像工程)。本第4実施形態では、校正器C2が立体形状のものであるため、撮像する校正器C2の姿勢は、1種類以上であればよい。なお、校正器が1つの平面状のものである場合は、各カメラ1_L, 1_Rにより撮像する校正器の姿勢は、3種類以上である。

【0085】

次に、CPU 2aは、各校正用画像データにおける各特徴点Q, T1, T2, T3の画像上の位置を画像処理により抽出する(S43: 抽出工程)。例えば、校正器C2を撮像した際の姿勢が1種類である場合、カメラ1_Lにより撮像されて得られる校正用画像データをI_L、カメラ1_Rにより撮像されて得られる校正用画像データをI_Rとする。CPU 2aは、校正用画像データI_Lにおける各特徴点Q, T1, T2, T3の画像上の位置を抽出する。同様に、CPU 2aは、校正用画像データI_Rにおける各特徴点Q, T1, T

2, T3の画像上の位置を抽出する。

【0086】

次に、CPU2aは、各校正用画像データにおける各特徴点Qの画像上の位置および記憶2bに記憶されている各特徴点の位置から各カメラ1_L, 1_Rのカメラパラメータの初期値を算出する(S44:初期値算出工程)。ここでは、例えば非特許文献2に示されているような公知の方法により、各カメラ1_L, 1_Rのカメラパラメータの初期値を算出する。本第4実施形態では、この初期値算出工程の処理では、各第1の特徴点Qの画像上の位置からカメラパラメータの初期値を算出する。つまり、第1の特徴点Qは、このステップS44における初期値算出工程の処理でカメラパラメータの初期値を算出するために設けられたものである。具体的には、CPU2aは、校正用画像データI_Lにおける各特徴点Qの画像上の位置からカメラ1_Lの内部パラメータの初期値を算出する。同様に、CPU2aは、校正用画像データI_Rにおける各特徴点Qの画像上の位置からカメラ1_Rの内部パラメータの初期値を算出する。また、各校正用画像データI_L、I_Rにおける各特徴点Qの画像上の位置からカメラ1_L、1_Rの外部パラメータの初期値を算出する。ここで、このカメラパラメータの初期値を算出するには、平面の校正器であれば少なくとも3種類の位置姿勢の校正器を撮像した画像データが必要であるが、本第4実施形態では、3面の校正器C2を撮像しているため、校正器C2の位置姿勢は1種類でよい。なお、内部パラメータについては、各カメラ別々に撮像を行い、別途算出しておいてもよい。

10

【0087】

算出されたカメラ1_L, 1_Rのカメラパラメータのうち内部パラメータをカメラ行列A_L、A_Rとして以下の数12及び数13に示す。なお、p₁~p₁₂は、カメラパラメータのうちの内部パラメータである。

20

【0088】

【数12】

$$A_L = \begin{bmatrix} p_1 \cdot p_2 & p_1 \cdot p_4 & p_5 \\ 0 & p_1 \cdot p_3 & p_6 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

【0089】

【数13】

$$A_R = \begin{bmatrix} p_7 \cdot p_8 & p_7 \cdot p_{10} & p_{11} \\ 0 & p_7 \cdot p_9 & p_{12} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

40

【0090】

また、カメラパラメータのうち各カメラ1_L, 1_Rの校正器座標系を基準とした位置及び姿勢を表わすベクトルT_L, T_Rを以下の数14及び数15に示す。なお、p₁₂~p₂₃はカメラパラメータのうちの外部パラメータである。

【0091】

【数 1 4】

$$T_L = [p_{12} \ p_{13} \ p_{14} \ p_{15} \ p_{16} \ p_{17}]^T$$

【0 0 9 2】

【数 1 5】

$$T_R = [p_{18} \ p_{19} \ p_{20} \ p_{21} \ p_{22} \ p_{23}]^T$$

10

【0 0 9 3】

ここで、CPU 2 a は、ステップ S 4 4 の処理において、内部パラメータとしてレンズ歪みを表わす放射状歪み係数 p_{24} 、 p_{25} 、 p_{26} 及び偏心歪み係数を p_{27} 、 p_{28} を算出する。そして、CPU 2 a は、以下の数 1 6 及び数 1 7 で表される関係式に算出した係数 $p_{24} \sim p_{28}$ を適用して、各校正用画像データにおいて、歪みのあるカメラ座標 (x', y') を歪みのないカメラ座標 (x, y) に補正しておく。なお、この数 1 6 及び数 1 7 において r は $x^2 + y^2$ の平方根を表わす。

20

【0 0 9 4】

【数 1 6】

$$x' = x + x * (p_{24} * r^2 + p_{25} * r^4 + p_{26} * r^6) + 2 * p_{27} * x * y + p_{28} * (r^2 + 2 * x^2)$$

【0 0 9 5】

【数 1 7】

$$y' = y + y * (p_{24} * r^2 + p_{25} * r^4 + p_{26} * r^6) + p_{27} * (r^2 + 2 * y^2) + 2 * p_{28} * x * y$$

30

【0 0 9 6】

次に、CPU 2 a は、各校正用画像データにおいて、各カメラ 1_L 、 1_R のカメラパラメータを用いて、検出済みである画像上の複数の特徴点のうち第 2 の特徴点 T_1 、 T_2 、 T_3 についてステレオ法により三次元位置の測定を行う（S 4 5：特徴点座標算出工程）。ここで、三次元測定を行う座標系は校正器座標系であり、本第 4 実施形態では、第 2 の特徴点 T_1 、 T_2 、 T_3 の実際の三次元位置座標が既知であるので、ステレオ法によりこれら特徴点 $T_1 \sim T_3$ の三次元位置測定を行う。なお、校正器座標系で三次元位置座標が既知であれば、特徴点 Q を用いてもよく、また、それらの数は 3 つに限定されるものではなく、少なくとも 1 つあればよい。

40

【0 0 9 7】

以下、特徴点座標算出工程の処理について具体的に説明する。校正用画像データ I_L 、 I_R における特徴点 T_1 の画像座標をそれぞれ (u_{Lt1}, v_{Lt1}) 、 (u_{Rt1}, v_{Rt1}) とする。特徴点 T_1 の三次元位置座標 $X_{t1} (x_{t1}, y_{t1}, z_{t1})^T$ は以下の数 1 8 及び数 1 9 のように表される。

【0 0 9 8】

【数 1 8】

$$g^* \begin{pmatrix} u_{l1} \\ v_{l1} \\ 1 \end{pmatrix} = A_L^* (Rot_L^* X_{t1} - Trans_L)$$

【0 0 9 9】

【数 1 9】

10

$$h^* \begin{pmatrix} u_{r1} \\ v_{r1} \\ 1 \end{pmatrix} = A_R^* (Rot_R^* X_{t1} - Trans_R)$$

【0 1 0 0】

この数 1 8 及び数 1 9 に示した式において、 Rot_L 、 Rot_R は数 1 4 及び数 1 5 に示す外部パラメータを示すベクトル T_L 、 T_R より算出した、カメラ 1_L 、 1_R の校正器座標系に対する回転行列である。また、 $Trans_L$ 、 $Trans_R$ は、外部パラメータを示すベクトル T_L 、 T_R より算出した、カメラ 1_L 、 1_R の校正器座標系に対する平行移動行列である。

20

【0 1 0 1】

この数 1 8 より求めた座標 X_{t1} と数 1 9 より求めた座標 X_{t1} との差の大きさが最小になるように、係数 g 、 h を算出し、その係数 g 、 h よりそれぞれ求めた座標 X_{t1} の中点として、特徴点 $T1$ の三次元位置座標 X_{t1} が求まる。同様に、特徴点 $T2$ 、 $T3$ の三次元位置座標 X_{t2} 、 X_{t3} も求まる。

【0 1 0 2】

次に、CPU 2 a は、ステップ S 4 5 で算出した特徴点 $T1 \sim T3$ の三次元位置座標と、実際の特徴点 $T1 \sim T3$ の三次元位置座標（真値）との誤差を算出する（S 4 6：誤差算出工程）。つまり、CPU 2 a は、算出した三次元位置座標 X_{t1} 、 X_{t2} 、 X_{t3} と記憶部 2 b に記憶された真値との誤差 X_{t1} 、 X_{t2} 、 X_{t3} を算出する。

30

【0 1 0 3】

次に、CPU 2 a は、ステップ S 4 6 で算出した誤差 X_{t1} 、 X_{t2} 、 X_{t3} から各カメラ 1_L 、 1_R のカメラパラメータの修正量を算出する（S 4 7：修正量算出工程）。

【0 1 0 4】

以下、修正量算出工程における修正量算出動作について具体的に説明する。まず、CPU 2 a は、以下の数 2 0 で表される誤差の二乗和を求める。

【0 1 0 5】

【数 2 0】

40

$$e = |\Delta X_{t1}|^2 + |\Delta X_{t2}|^2 + |\Delta X_{t3}|^2$$

【0 1 0 6】

以下、この二乗和が最小になるようにカメラ校正を行うが、最小化する対象は、以下の数 2 1 で表わすように X 方向と Y 方向と Z 方向にそれぞれ重みづけを行ったものとするなど、この限りでない。

【0 1 0 7】

50

【数 2 1】

$$e = wx * (|\Delta x_{i1}|^2 + |\Delta x_{i2}|^2 + |\Delta x_{i3}|^2) + wy * (|\Delta y_{i1}|^2 + |\Delta y_{i2}|^2 + |\Delta y_{i3}|^2) + wz * (|\Delta z_{i1}|^2 + |\Delta z_{i2}|^2 + |\Delta z_{i3}|^2)$$

【0 1 0 8】

CPU 2 a は、この e において、以下の数 2 2 及び数 2 3 に示す勾配 e とヘッセ行列 H を算出する。

【0 1 0 9】

10

【数 2 2】

$$\nabla e = \begin{pmatrix} \frac{\partial e}{\partial p_1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{\partial e}{\partial p_{28}} \end{pmatrix}$$

20

【0 1 1 0】

【数 2 3】

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 e}{\partial p_1^2} & \cdot & \frac{\partial^2 e}{\partial p_1 \partial p_{28}} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial^2 e}{\partial p_{28} \partial p_1} & \cdot & \frac{\partial^2 e}{\partial p_{28}^2} \end{pmatrix}$$

30

【0 1 1 1】

次いで、CPU 2 a は、ニュートン法を用いて、以下の数 2 4 に示すカメラパラメータ $P = (p_1, \dots, p_{28})^T$ の修正量 $P = (p_1, \dots, p_{28})^T$ を算出する。

【0 1 1 2】

【数 2 4】

$$P = P + \Delta P = P - H^{-1} \cdot \nabla e$$

40

【0 1 1 3】

次に、CPU 2 a は、ステップ S 4 7 で算出された修正量 P の分加算処理を行うことで、各カメラパラメータ P を更新（修正）する（S 4 8：カメラパラメータ修正工程）。これにより、各カメラパラメータ p_1, \dots, p_{28} が校正されたこととなる。なお、修正量 p_1, \dots, p_{28} が負の値の場合は、カメラパラメータに負の値の修正量を加算することとなる。

【0 1 1 4】

このように、ステレオ法による特徴点の三次元位置座標の算出結果を用いてカメラパラメータ p_1, \dots, p_{28} の校正を行うため、三次元位置の測定における測定精度を向上さ

50

せることができる。また、カメラパラメータ p_1, \dots, p_{28} の初期値を算出するための撮像作業が、それに続くカメラパラメータ p_1, \dots, p_{28} の校正のための撮像作業も兼ねるので、撮像作業を簡略化することができる。

【0115】

ここで、このカメラパラメータ p_1, \dots, p_{28} の修正動作を1回だけ行ってもよいが、本第4実施形態では、これらカメラパラメータの修正量がそれぞれの閾値以下となるまで繰り返すことで、カメラ校正を行うようにしている。

【0116】

つまり、CPU 2aは、ステップS48のカメラパラメータ修正工程における修正処理を終了した後、ステップS47で算出した修正量とステップS41で設定した閾値とを比較する(S49:比較工程)。そして、CPU 2aは、ステップS49における比較の結果、ステップS47で算出した修正量がステップS41で設定された閾値を上回る場合(S49:No)、ステップS45の処理に戻り、ステップS45~S48の処理を再度実行する。つまり、CPU 2aは、カメラパラメータの修正量が一つでも閾値を上回る場合(S49:No)には、再度、カメラ校正を実施し、全てのカメラパラメータの修正量が閾値以下となった場合(S49:Yes)に、カメラ校正を終了する。

【0117】

具体的には、カメラパラメータ $p_1 \sim p_{28}$ の修正量 $|p_1| \sim |p_{28}|$ に対しては、ステップS41で閾値 $th_1 \sim th_{28}$ が設定される。そして、CPU 2aは、修正量 $|f_1| \sim |p_{28}|$ と閾値 $th_1 \sim th_{28}$ とをそれぞれ比較し、全ての修正量が閾値以下となった場合に、カメラ校正を終了する。

【0118】

なお、これら閾値 $th_1 \sim th_{28}$ の値の設定については、以下のようにしている。まず、ステレオカメラを用いる用途において必要となる校正精度を求め、この校正精度の数分の1の値を校正のバラツキ許容値とする。そして、各カメラパラメータの変動が校正のバラツキに及ぼす影響を算出しておき、この影響がバラツキ許容値以下となる各カメラパラメータの変動値を閾値とする。なお、この閾値の設定値については、これに限定するものではなく、バラツキ許容値の0.1%以下の値などの共通の値にしてもよく、オペレータが任意に設定できる値である。

【0119】

このように、各修正量が閾値以下となるまで各カメラパラメータの修正を行うことで、1回のみ各カメラパラメータを修正する場合よりも、更に三次元位置の測定における測定精度が向上する。

【0120】

[第5実施形態]

次に、本発明の第5実施形態に係るステレオ撮像装置におけるカメラ校正方法について説明する。図8は、本発明の第5実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。なお、本第5実施形態のステレオ撮像装置では、上記第1及び第4実施形態のステレオ撮像装置と同様の構成であり、各構成については上記第1実施形態と同様の符号を用いて説明する。また、校正器も上記第4実施形態と同一の構成であるので、上記第4実施形態と同様の符号を用いて説明する。また、図8のフローチャートの各ステップの説明において、図7のフローチャートのステップと同様の処理を行うものについては、同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

【0121】

CPU 2aは、予めオペレータの操作による入力装置3の指示により、カウント数Nの上限を示すカウント数上限値 N_0 を設定する(S51:上限値設定工程)。カウント数Nは、カメラパラメータの修正回数を示している。ここで、カウント数上限値 N_0 を設定するとは、カウント数上限値 N_0 を示すデータをCPU 2aがカウント数上限値 N_0 として読み出し可能な状態で記憶部2bに記憶させることである。なお、このカウント数上限値

N_0 の設定の動作は、校正モードに切り替えられた際に毎回行うようにしてもよいし、校正モードに切り替えられた最初の 1 回だけ行うようにしてもよい。また、オペレータが随時、カウント数上限値 N_0 の設定を行えるように構成してもよい。また、記憶部 2 b に校正用のプログラムを記憶させる際に、カウント数上限値 N_0 のデータを校正用のプログラムと共に記憶部 2 b に記憶させるようにしてもよい。

【0122】

次に、CPU 2 a は、カウント数 N を初期化 ($N = 0$) する (S 5 2)。そして、CPU 2 a は、上記第 4 実施形態と同様に、ステップ S 4 2 ~ S 4 8 の処理を実行し、ステップ S 4 8 でカメラパラメータを修正した後、カウント数 N を 1 インクリメントする (S 5 3)。つまり、このカウント数 N は、カメラパラメータの修正回数を示しているので、カメラパラメータを修正する度にカウント数 N を 1 インクリメントする。

10

【0123】

次に、CPU 2 a は、カウント数 N がカウント数上限値 N_0 に達したか否かを判断する (S 5 4)。CPU 2 a は、カウント数 N がカウント数上限値 N_0 に達していないと判断した場合 (S 5 4 : No) は、ステップ S 4 5 の処理に戻り、ステップ S 4 5 ~ S 4 8 の一連の工程を実行する。これにより、カウント数 N がカウント数上限値 N_0 に達するまで、ステップ S 4 5 ~ S 4 8 の一連の工程を繰り返し実行されることとなる。

【0124】

そして、CPU 2 a は、カウント数 N がカウント数上限値 N_0 に達したと判断した場合 (S 5 4 : Yes) は、カメラ校正を終了する。

20

【0125】

以上、本第 5 実施形態では、予め設定された値 N_0 の数の分、カメラパラメータを修正することとなり、更に三次元位置の測定における測定精度が向上する。

【0126】

[第 6 実施形態]

次に、本発明の第 6 実施形態に係るステレオ撮像装置におけるカメラ校正方法について説明する。図 9 は、本発明の第 6 実施形態に係るステレオ撮像装置の制御装置による各カメラのカメラ校正の処理動作を示すフローチャートである。なお、本第 6 実施形態のステレオ撮像装置では、上記第 1 及び第 4 実施形態のステレオ撮像装置と同様の構成であるので、各構成については上記第 1 実施形態と同様の符号を用いて説明する。また、校正器も上記第 4 実施形態と同一の構成であるので、上記第 4 実施形態と同様の符号を用いて説明する。また、図 9 のフローチャートの各ステップの説明において、図 7 のフローチャートのステップと同様の処理を行うものについては、同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

30

【0127】

まず、CPU 2 a は、上記第 4 実施形態と同様に、予めオペレータの操作による入力装置 3 の指示により、後述する比較工程で比較するために用いられる閾値を設定する (S 6 1 : 閾値設定工程)。この閾値設定の動作は、上記第 4 実施形態と同様であるが、設定される閾値のデータが異なる。上記第 4 実施形態では、カメラパラメータの修正量に対する閾値を設定したが、本第 6 実施形態では、特徴点の三次元位置座標の誤差に対する閾値を設定する。例えば、誤差 X_{t1} , X_{t2} , X_{t3} に対して閾値 th_{t1} , th_{t2} , th_{t3} が設定される。

40

【0128】

ここで、閾値 $th_{t1} \sim th_{t3}$ の値については、ステレオカメラを用いる用途において、ここでいう誤差と、測定対象に対して行う画像処理による追加の誤差との和が、必要となる精度よりも小さくなるようにオペレータが設定すればよい。

【0129】

次いで、CPU 2 a は、上記第 4 実施形態と同様に、ステップ S 4 2 ~ S 4 6 の処理を実行する。そして、CPU 2 a は、ステップ S 4 6 で誤差 X_{t1} , X_{t2} , X_{t3} を算出した後、当該誤差と、ステップ S 6 1 で設定された閾値 th_{t1} , th_{t2} , th_{t3}

50

t_3 とを比較する (S 6 2 : 比較工程)。

【0130】

CPU 2 a は、ステップ S 6 2 における比較の結果、ステップ S 4 6 で算出した誤差が、ステップ S 6 1 で設定された閾値を上回る場合 (S 6 2 : No) に、上記第 4 実施形態と同様のステップ S 4 7 (修正量算出工程) の処理を実行する。次いで、CPU 2 a は、上記第 4 実施形態と同様にステップ S 4 8 (カメラパラメータ修正工程) の処理を実行する。つまり、誤差 X_{t1} , X_{t2} , X_{t3} のうち、1 つでも閾値を上回るものがあれば、カメラパラメータの修正処理を実行する。

【0131】

なお、CPU 2 a は、ステップ S 6 2 における比較の結果、ステップ S 4 6 で算出した誤差が、ステップ S 6 1 で設定された閾値以下の場合 (S 6 2 : Yes) には、カメラパラメータを修正する必要がないので、カメラ校正を終了する。つまり、算出された全ての誤差 X_{t1} , X_{t2} , X_{t3} が閾値以下であれば、カメラ校正を終了する。

【0132】

ここで、本第 6 実施形態では、各誤差が閾値以下となるまで、カメラパラメータの修正動作を行う。具体的には、CPU 2 a は、ステップ S 4 8 の処理にて各カメラ 1 のカメラパラメータを修正した後、ステップ S 4 5 , S 4 6 , S 6 2 の処理を再度実行する。

【0133】

そして、再度、ステップ S 6 2 の比較処理で誤差が閾値を上回ると判断した場合 (S 6 2 : No) 、再度、ステップ S 4 7 の修正量算出工程の処理及びステップ S 4 8 のカメラパラメータ修正工程の処理が実行される。

【0134】

以上、本第 6 実施形態では、算出した誤差が閾値以下となるまでカメラパラメータが修正され、誤差が閾値以下になったら、カメラパラメータの修正の処理を終了させている。したがって、カメラパラメータの過剰な修正動作が抑制され、更に三次元位置の測定における測定精度が向上する。また、誤差が閾値以下にならないことが懸念される場合は、無限に演算されることを避けるために、第 2 実施形態で述べたように繰り返し回数による上限も決めておいてもよい。

【0135】

なお、上記第 1 ~ 第 6 実施形態に基づいて本発明を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。校正器としては、上記第 1 ~ 第 6 実施形態において例示した校正器 C 1 , C 2 に限定されるものではなく、特徴点を抽出できるものであれば、特徴点はいかなる形状であってもよい。

【符号の説明】

【0136】

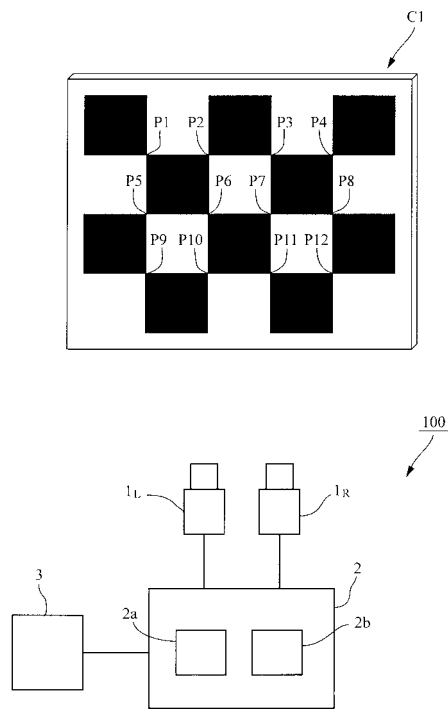
1_L , 1_R ... カメラ、2 ... 制御装置、2 a ... CPU、2 b ... 記憶部、3 ... 入力装置、C 1 , C 2 ... 校正器、P 1 ~ P 1 2 ... 特徴点、Q ... 特徴点、T 1 , T 2 , T 3 ... 特徴点

10

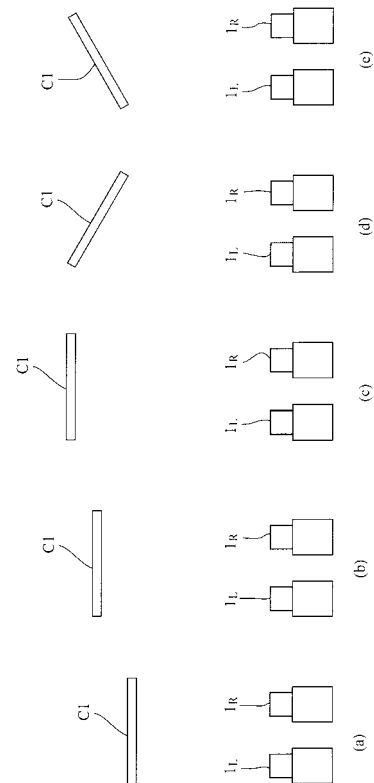
20

30

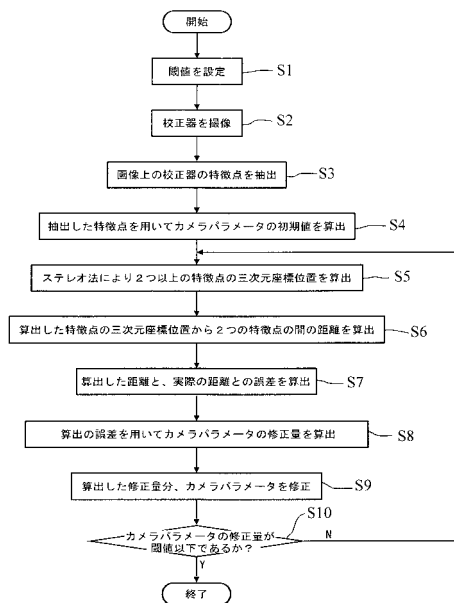
【図 1】



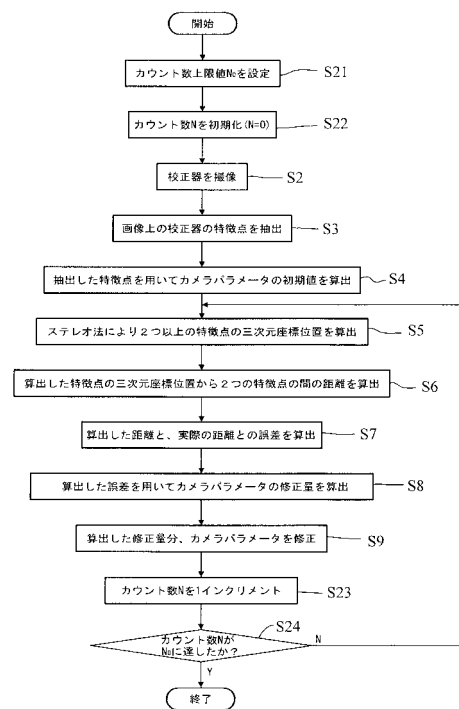
【図 2】



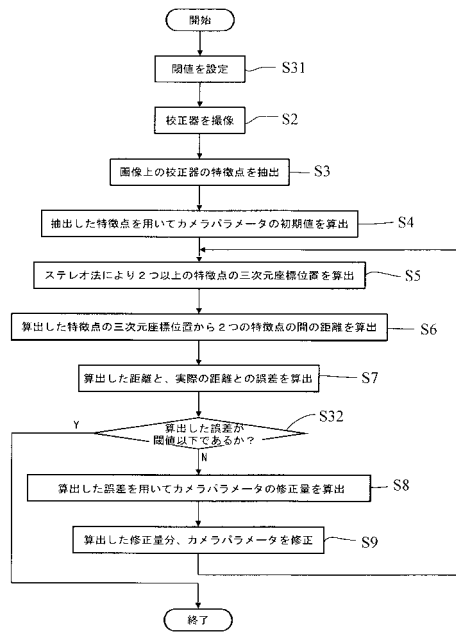
【図 3】



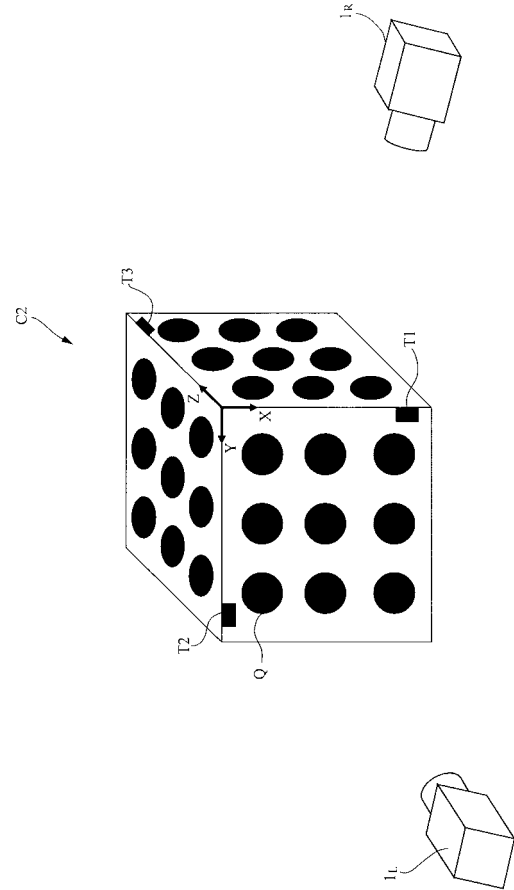
【図 4】



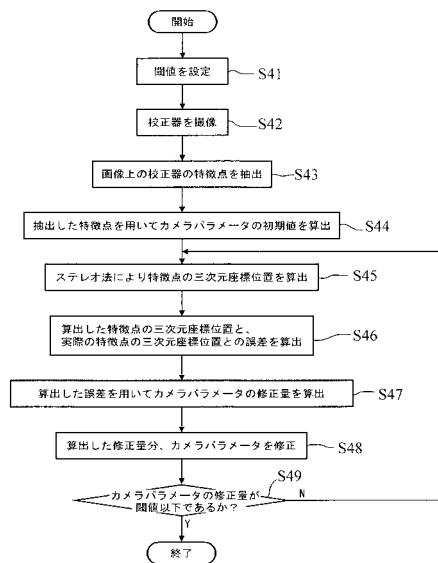
【図 5】



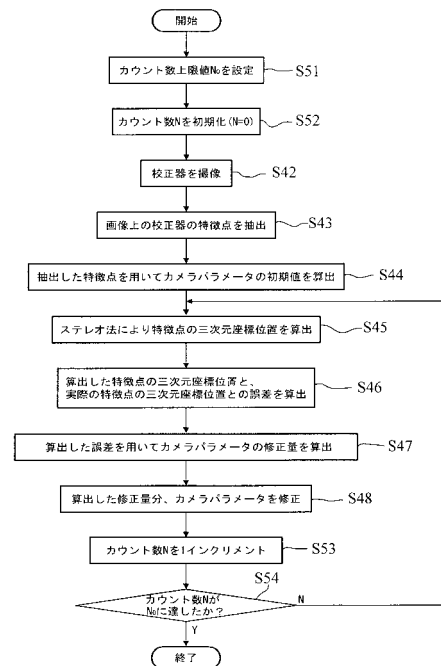
【図 6】



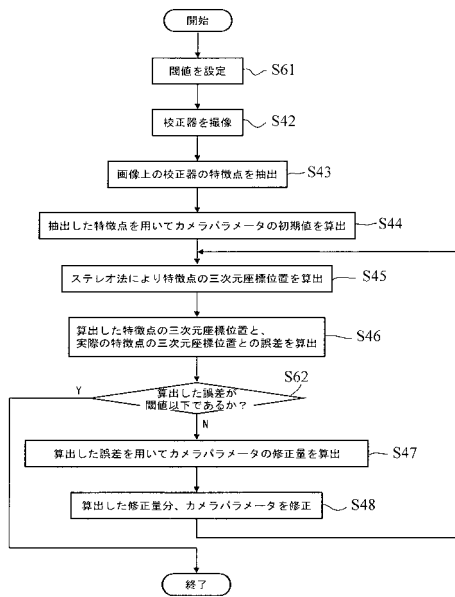
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2F065 AA04 AA20 AA37 BB02 BB05 EE08 EE11 EE12 FF05 FF09
FF61 QQ08 QQ18 QQ21 QQ23 QQ25 QQ31 QQ51
2F112 AC03 AC06 BA12 CA08 FA03 FA09 FA14 FA21 FA35 FA41
FA45 GA01
5B057 BA17 CA08 CA13 CA16 CB13 CB16 CD14 DA07 DB02 DB09
DC03 DC05 DC34 DC36